



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA –
PIBIC**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE LIGAS Fe-
25Cr-xTi**

Área do conhecimento: Engenharia de Materiais
Subárea do conhecimento: Metalurgia Física
Especialidade do conhecimento: Transformações de Fases

Relatório Final
Período da bolsa: de Agosto de 2017 a Julho de 2018

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica

PIBIC/COPES

Orientador: Prof. Dra. Sandra Andreia Stewart de Araujo Souza
Autor: Brendon Costa Barreto



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Sumário

1. Introdução	3
2. Objetivo Geral.....	6
2.1. Objetivos Específicos.....	6
3. Metodologia	6
3.1. Obtenção de Ligas.....	6
3.2. Preparação Metalográfica e Análise por Microscopia Óptica	7
3.3. Análise por Difração de Raios-X (DRX).....	7
3.4. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	8
3.5. Análise de Dureza	8
4. Resultados e Discussões.....	8
4.1. Caracterização Microestrutural.....	8
4.2. Caracterização Mecânica.....	18
5. Conclusões	19
6. Perspectiva	20
7. Referências Bibliográficas.....	20
8. Outras Atividades.....	23



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

1. Introdução

Aços inoxidáveis são materiais metálicos que possuem como principal característica a resistência à corrosão proporcionada pela adição de um mínimo de 10,5% de cromo. O cromo, ao entrar em contato com o oxigênio, liga-se a este e forma uma camada passiva de Cr_2O_3 , ou seja, uma película protetora, fina e aderente que confere ao material sua propriedade fundamental.

Os aços inoxidáveis são divididos em cinco famílias. Quatro destas baseiam-se na microestrutura e uma delas no tipo de tratamento térmico utilizado. As famílias classificadas conforme suas microestruturas são: aços inoxidáveis austeníticos, ferríticos, martensíticos e duplex (ferrítico + austenítico). A quinta família é formada pelos aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação ^[1].

Dentre as famílias de aços inoxidáveis, há um maior interesse nos aços inoxidáveis ferríticos, pois possuem diversas propriedades atraentes encontradas nos austeníticos e duplex, tais como resistência e durabilidade, porém são ligas mais baratas contendo pouco ou nenhum níquel. Desta forma, usados em aplicações apropriadas, os ferríticos podem oferecer uma solução muito competitiva e econômica ^[2]. Eles são constituídos basicamente por ferro e teor de cromo em uma faixa de 11 a 30% e não apresentam transformação de fase do ponto de fusão até a temperatura ambiente ^[3], conforme pode ser verificado na Figura 1.1, através do diagrama Fe-Cr.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

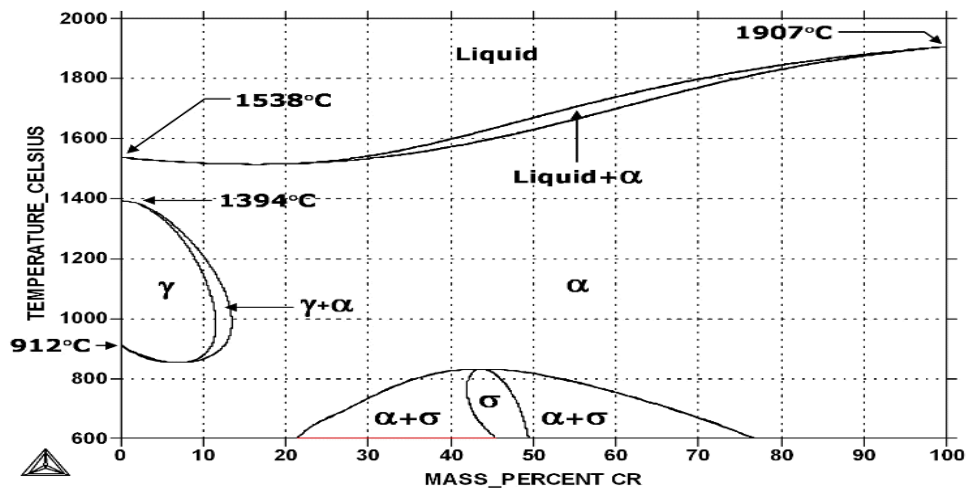


Figura 1.1: Diagrama de fases ferro-cromo [4].

A microestrutura é constituída de ferrita α com estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC) [5]. A Figura 1.2 mostra o difratograma de raios-X do ferro com alto teor de pureza, através do qual é identificada a fase ferrita com picos característicos em $44,93^\circ$ e $65,49^\circ$ referentes aos planos (110) e (200) respectivamente.

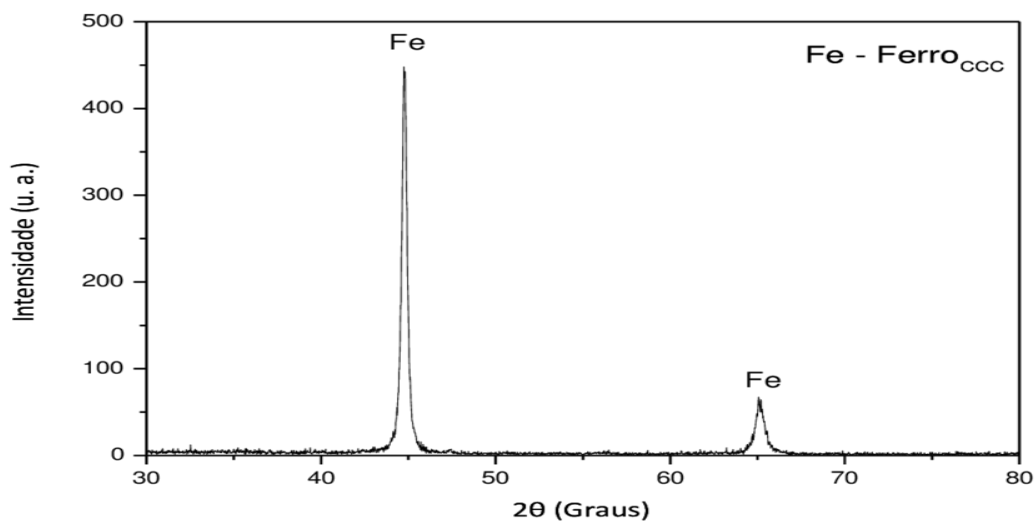


Figura 1.2. Difratograma do ferro puro [6].

Nos aços inoxidáveis ferríticos, as adições de elementos tais como titânio (Ti), molibdênio (Mo) e nióbio (Nb) promovem a formação da fase ferrita e



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

impedem a corrosão intergranular promovendo um aumento da resistência à corrosão, uma vez que gradientes de concentração de cromo nas regiões próximas aos contornos de grãos são eliminados, garantindo a manutenção da camada passiva de Cr_2O_3 [3,7]. Quando elementos estabilizadores da ferrita são adicionados, causam inicialmente decréscimo na resistência mecânica do material, pois ocorre redução da quantidade de austenita, porém quando a estrutura é inteiramente ferrítica é que se pode notar o efeito de endurecimento por solução sólida [8].

O titânio é o elemento estabilizante mais utilizado em aços inoxidáveis ferríticos formando precipitados de TiC . Ao adicioná-lo em concentrações até 0,7% em peso, este atua como refinador de grão e provoca melhoria na resistência mecânica, devido aos precipitados serem mais estáveis e assim causam melhorias na tenacidade [9].

Todos os fatores benéficos dos aços inoxidáveis ferríticos têm atraído a atenção de diversos setores como: indústria automotiva, ferroviária e metroviária, de petróleo e gás, sucroalcooleira, petroquímica, naval, farmacêutica, de alimentos e de bebidas, de eletrodomésticos, de utensílios de cozinha, e na construção civil e arquitetura, dentre outros [10].

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar microestruturalmente as ligas Fe-25Cr com teores variáveis de titânio (0,2: 0,4 e 0,6% em peso) a fim de avaliar sua influência sobre as microestruturas e propriedades finais. Vale salientar que a literatura não possui dados específicos para as composições estudadas e as mesmas apresentam características microestruturais muito próximas aos aços inoxidáveis ferríticos.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

2. Objetivo Geral

- Obter e caracterizar ligas de Fe-25Cr-xTi ($x = 0,2; 0,4$ e $0,6\%$) (% em peso).

2.1. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do titânio sobre a formação e distribuição das fases em ligas Fe-25Cr.
- Avaliar o efeito do refino de grão.

3. Metodologia

3.1. Obtenção de Ligas

Foram produzidas ligas com massa de 100 g a partir de elementos com elevado grau de pureza, Fe (99,98%), Cr (99,99%) e Ti (99,81%), utilizando um forno a arco com eletrodo não consumível de tungstênio sob atmosfera de argônio (99,98%) e cadinho de cobre refrigerado a água. Durante essa etapa, as ligas foram refundidas oito vezes a fim de garantir a fusão completa dos cavacos. A Tabela 3.1 apresenta suas composições nominais.

Após a etapa de fusão, parte dessas ligas foi conformada por laminação a quente com temperatura de trabalho de 980°C , obtendo-se, dessa forma, placas com espessura final de 2 mm. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Processamento Termomecânico (TERMIC 1) do DMM-PEMM/COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Portanto, ao final foram estudadas oito amostras: na condição bruta de fusão (grupo 1) e quatro laminadas (grupo 2).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Tabela 3.1: Composições nominais (% em peso) das ligas obtidas.

Ligas	Fe	Cr	Ti
T0	75	25	-
T2	74,8	25	0,2
T4	74,6	25	0,4
T6	74,4	25	0,6

3.2. Preparação Metalográfica e Análise por Microscopia Óptica

Após o corte das peças, realizou-se o embutimento de 8 amostras em resinas poliméricas com cura a frio. O lixamento foi realizado manualmente através de lixas de carbeto de silício de grana 120, 220, 400, 600 e 1200, respectivamente e foram lubrificadas com água, posteriormente, foi feito o desengorduramento das amostras em banho ultrassônico em água e etanol. O polimento mecânico foi realizado em uma politriz semiautomática em pano de polimento com pasta de diamante ($3\mu\text{m}$) como abrasivo e álcool para lubrificação, também foi utilizada suspensão de alumina (Al_2O_3) (1; 0,3 e 0,05 μm). O ataque químico foi empregado por meio de reagente químico denominado água régia, que é constituído de 75% de ácido clorídrico (HCl) e 25% de ácido nítrico (HNO_3) e foi aplicado à superfície da amostra através de algodão durante dois segundos. Nas amostras bruta de fusão com 0,6% de titânio e laminada com 0,2% titânio foi utilizado tempo de ataque superior a dois segundos, devido à dificuldade das microestruturas das mesmas serem reveladas. Depois de atacadas, as amostras foram novamente limpas em banho ultrassônico com água e etanol. Em seguida, as amostras foram analisadas e fotografadas com magnificação de 100x em microscópio óptico (MO) Leica, modelo DM 2500 M.

3.3. Análise por Difração de Raios-X (DRX)

Essa análise foi realizada nas amostras laminadas a quente. Os difratogramas de raios-X foram obtidos no Campus da UFS em Itabaiana no



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

equipamento *Empyrean* da *Panalytical*. Para essa etapa foram utilizadas ligas previamente polidas e sem ataque químico, as quais foram expostas à radiação Cu-K α de acordo com as seguintes especificações: tensão de 40 kV, corrente de 40 mA e varredura de 0,055°/s com variação 2θ de 20 a 100°. A identificação das fases foi realizada comparando-se os espectros obtidos com padrões pré-determinados utilizando banco de dados Powder Diffraction File- PDF 2.

3.4. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os mapas de distribuição dos elementos químicos foram obtidos nas ligas laminadas previamente polidas utilizando um microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM 5700, com espectrômetro de energia dispersiva de raios-X(EDS) acoplado ao equipamento. As amostras foram fixadas com fitas de carbono.

3.5. Análise de Dureza

As amostras laminadas foram lixadas até grana 1200 e, em seguida, submetidas a ensaio de dureza Vickers. O indentador pressionou a amostra com carga de 1 kgf durante de 10 s, utilizando o equipamento Future-Tech Vickers Hardness Tester FV-700. Cada amostra foi caracterizada por 5 valores de dureza.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização Microestrutural

As microestruturas das ligas Fe-25Cr-xTi brutas de fusão e laminadas são apresentadas nas Figuras 4.1 e 4.2 que mostram, respectivamente, suas micrografias com aumento de 100x nas concentrações de 0, 0,2; 0,4 e 0,6% de Ti (% em peso). É possível notar, através da Figura 4.1 que as microestruturas das ligas em todas as composições apresentam tamanhos de grãos grandes,



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

característicos de ligas nessas condições, pois, o alto teor de cromo na liga, que garante uma microestrutura monofásica totalmente ferrítica, favorece uma elevada mobilidade atômica e, conseqüentemente, proporciona o crescimento mais rápido do grão ^[11]. De acordo com Lippolde e Kotecki ^[12], grãos grandes reduzem a tenacidade e a dureza. Segundo Silva ^[13] os grãos de ferrita com alto teor de cromo contêm muitos subgrãos que influenciam na resistência mecânica. Neste estudo foram notados vários subgrãos, mas somente na microestrutura da liga bruta de fusão com adição de 0,4% de titânio (Figura 4.1c). Nesse grupo de ligas nota-se também que a microestrutura da liga com 0,6% de Ti apresenta maior refino de grão (Figura 4.1d).

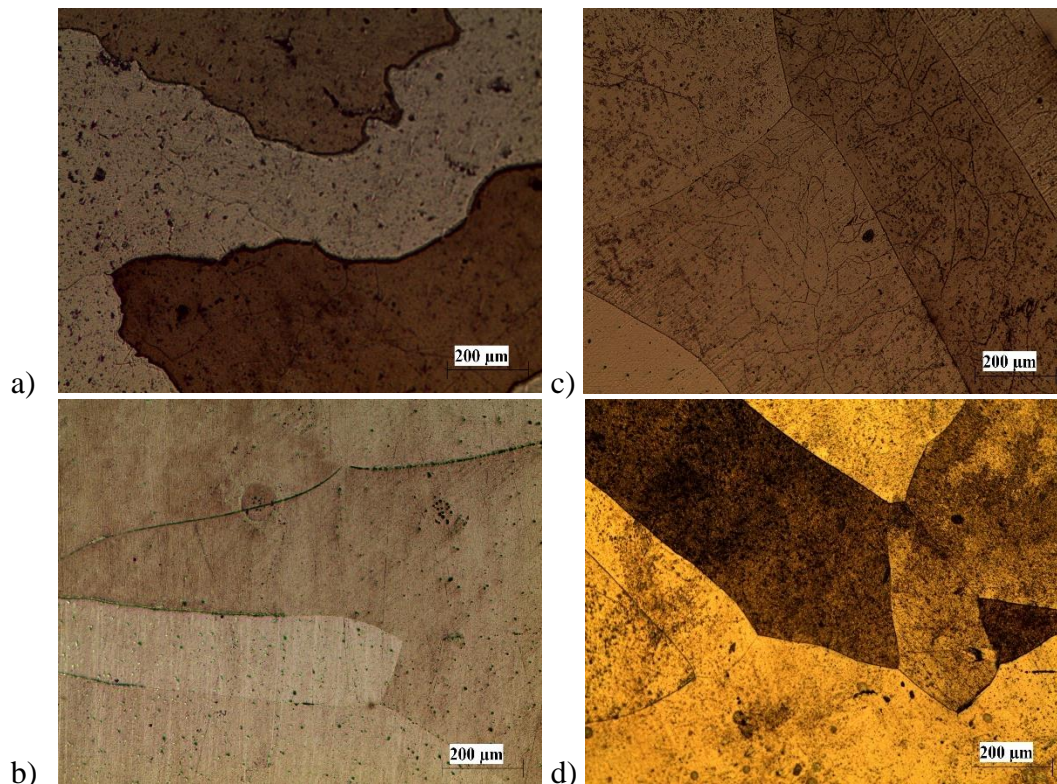


Figura 4.1.: Micrografia das ligas brutas de fusão com aumento de 100x. a) Fe-25Cr; b) Fe-25Cr-0,2Ti; c) Fe-25Cr-0,4Ti; d) Fe-25Cr-0,6Ti



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

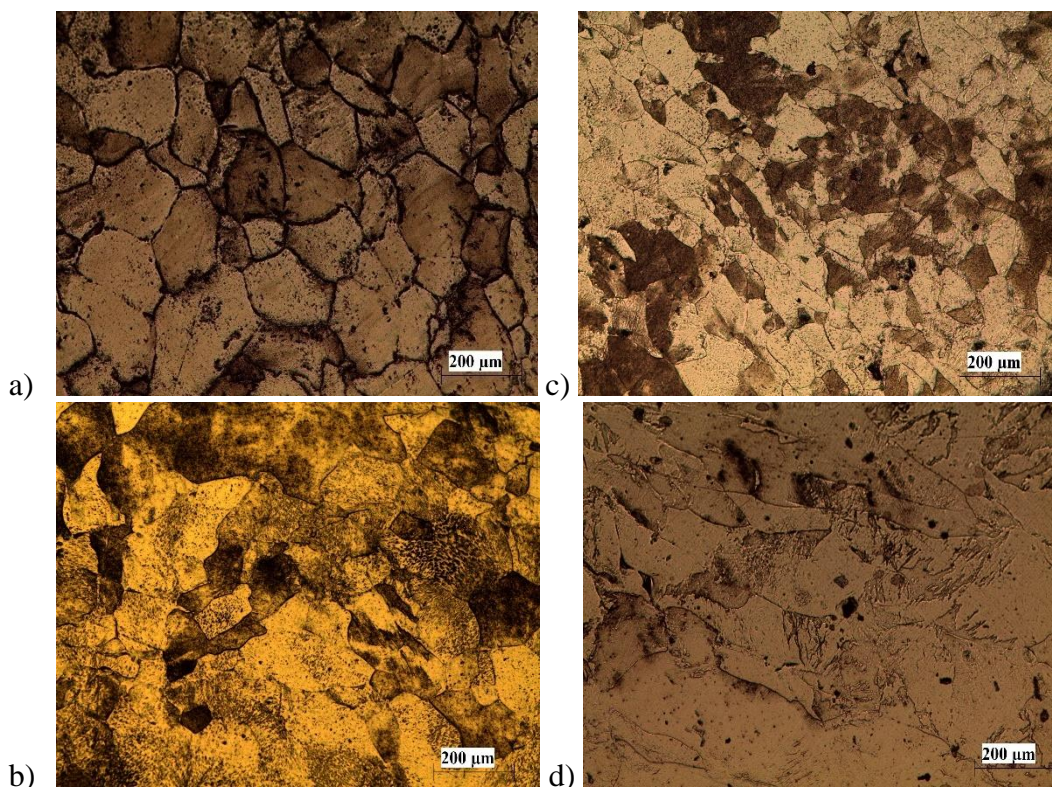


Figura 4.2: Micrografia das ligas laminadas com aumento de 100x. a) Fe-25Cr; b) Fe-25Cr-0,2Ti; c) Fe-25Cr-0,4Ti; d) Fe-25Cr-0,6Ti

Na Figura 4.2 é possível notar a diminuição do tamanho de grão nas ligas que foram submetidas a laminação a quente, pois nesse processo termomecânico a microestrutura bruta de fusão de grãos grandes é substituída por uma microestrutura de grãos refinados. Este resultado foi complementado pela adição do titânio pois, como dito anteriormente, este atua como refinador de grãos ferríticos. Este fato é confirmado pelo efeito de refino de grão-perceptível nas adições de 0,2 e 0,4% de Ti (Figura 4.2b-c). Vale ressaltar que na condição bruta de fusão, a menor redução de tamanho de grão foi observada na concentração de 0,6% de Ti. Para a liga laminada de mesma composição esperava-se que o refino de grão fosse mantido, de modo a apresentar grãos menores em relação às outras ligas com teores inferiores de titânio, mas apenas uma estrutura massiva constituída de grandes regiões irregulares dentro dos grãos foi observada (Figura 4.2d). Uma análise criteriosa deve ser então



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

realizada em outras amostras com 0,6% de Ti para as duas condições a fim de verificar o tamanho médio de seus grãos e observar se essas discrepâncias ainda permanecem. Mallaiah et al ^[9] estudaram a influência da adição de titânio nas propriedades mecânicas, tensões residuais e comportamento corrosivo de soldas de aço inoxidável ferrítico AISI 430 classe GTA e verificaram que a adição de até 0,7% de titânio (% em peso) provocou melhoria no refino de grão, porém quando foi adicionado 0,9% de titânio houve aumento no tamanho de grão, o que mostra a existência de uma concentração crítica.

A Figura 4.3 apresenta os difratogramas de raios-X das amostras laminadas, onde é possível observar os picos característicos da fase ferrita, pois o elevado teor de cromo e a adição de titânio contribuem para sua estabilização sem a ocorrência de transformação de fase no estado sólido.

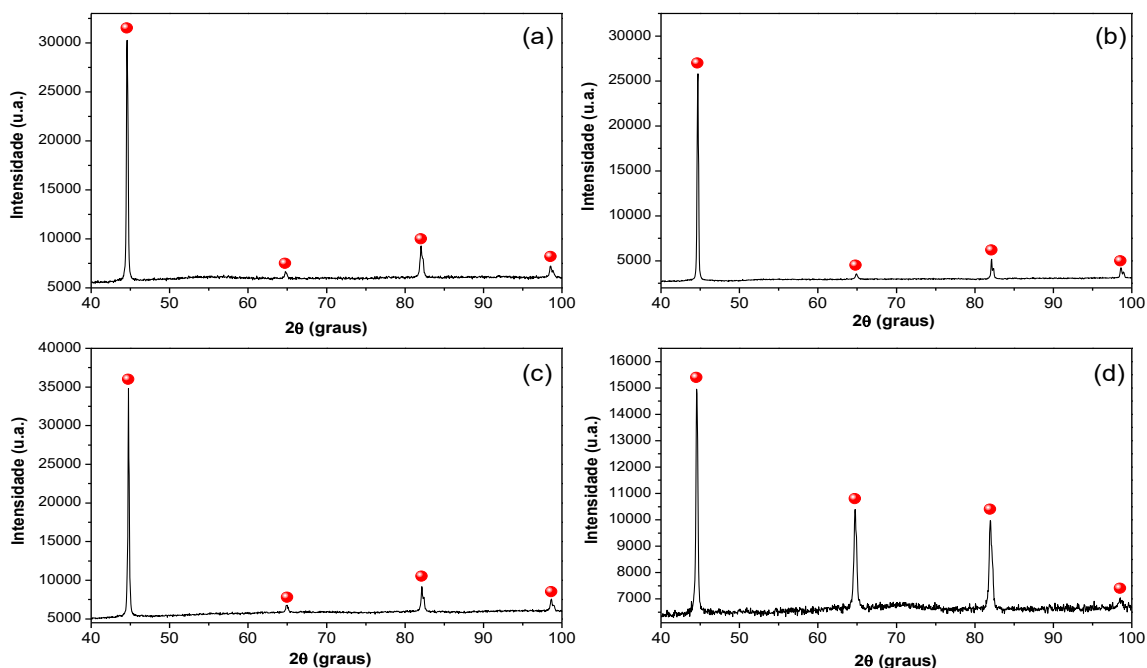


Figura 4.3: Difratograma de raios-X das ligas laminadas à 980°C. a) Fe-25Cr; b) Fe-25Cr-0,2Ti; c) Fe-25Cr-0,4Ti; d) Fe-25Cr-0,6Ti. O símbolo(●)é correspondente a fase ferrita (α -Fe) encontrada em todas as amostras.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Nesse estudo, as amostras laminadas foram analisadas por EDS e seus mapas de distribuição de elementos (Fe, Cr e Ti) obtidos com o intuito de observar se os teores de titânio proporcionaram algum tipo de formação de fase secundária que não tenha sido detectada por difração de raios-X. A Figura 4.4 mostra a imagem de elétrons secundários da superfície polida da liga Fe-25Cr laminada com magnificação de 2500x e seus respectivos mapas de distribuição de Fe e Cr, além do seu espectro de energia dispersiva. Os resultados mostram que a superfície apresenta uma distribuição homogênea de Fe e Cr. Embora os elementos utilizados para produção das ligas possuísem alto teor de pureza, foi encontrado através desta técnica de análise química a presença de carbono, com pico característico em aproximadamente 0,3 keV.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

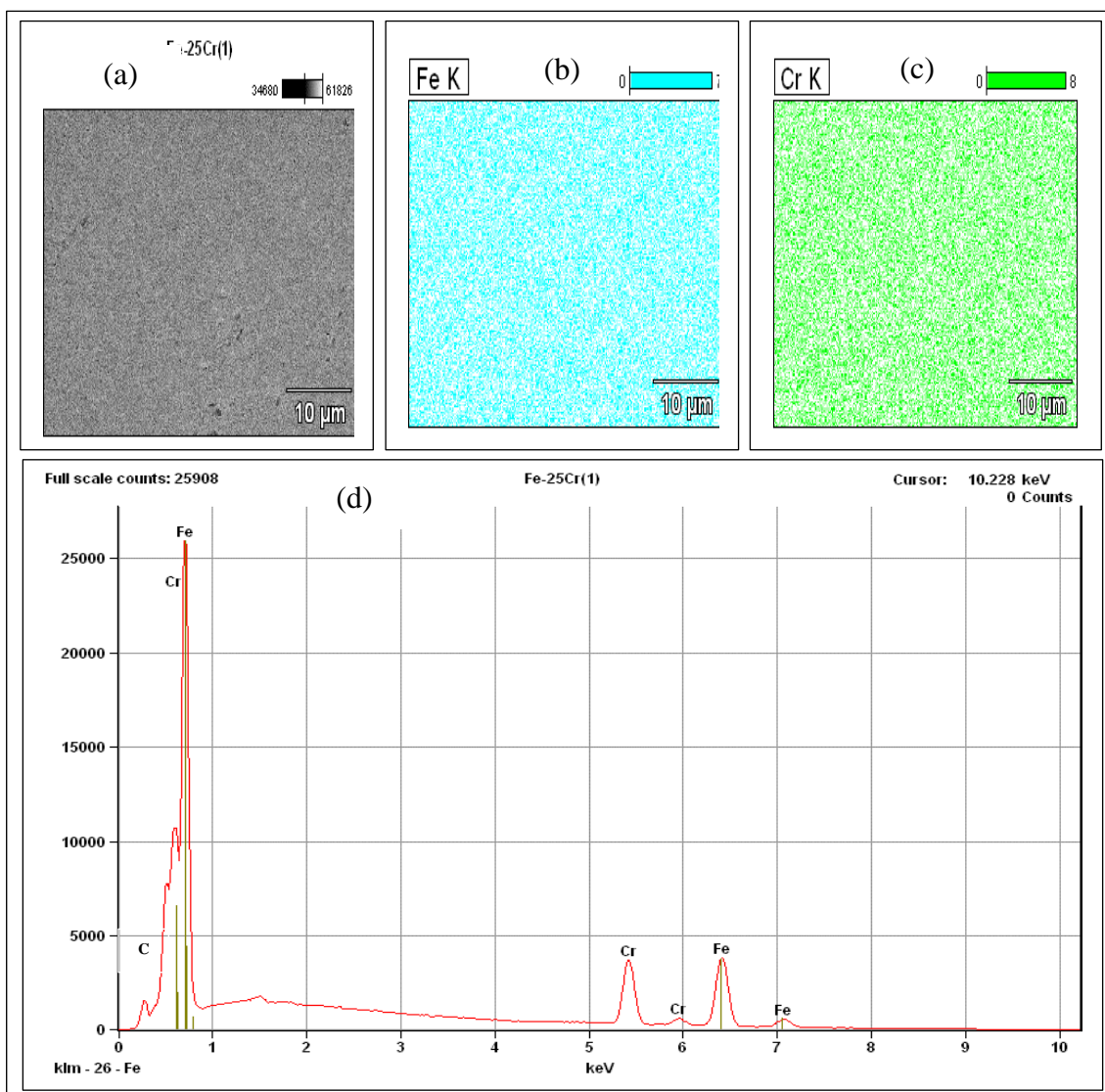


Figura 4.4. Imagem de elétrons secundários da liga Fe-25Cr (a) e seus respectivos mapas de distribuição dos elementos (b-c). Espectro de energia dispersiva (EDS) da área selecionada (d).

Para uma adição de 0,2% de Ti (Figura 4.5) são observadas uma distribuição homogênea dos elementos Fe e Cr na liga (Figura 4.5b-c), no entanto, o mesmo não é verificado para o Ti, pois uma maior concentração deste elemento em relação à matriz é notada em pouquíssimos pontos da amostra (Figura 4.5d). Esse fato é confirmado pela análise por EDS onde podem ser



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

observados picos intensos de titânio no espectro de energia dispersiva correspondente ao ponto 1 apresentado na Figura 4.5e. Estes picos são acompanhados por um pico acentuado referente ao carbono, o que leva a crer que houve a formação de precipitados de carbonetos de titânio (TiC).

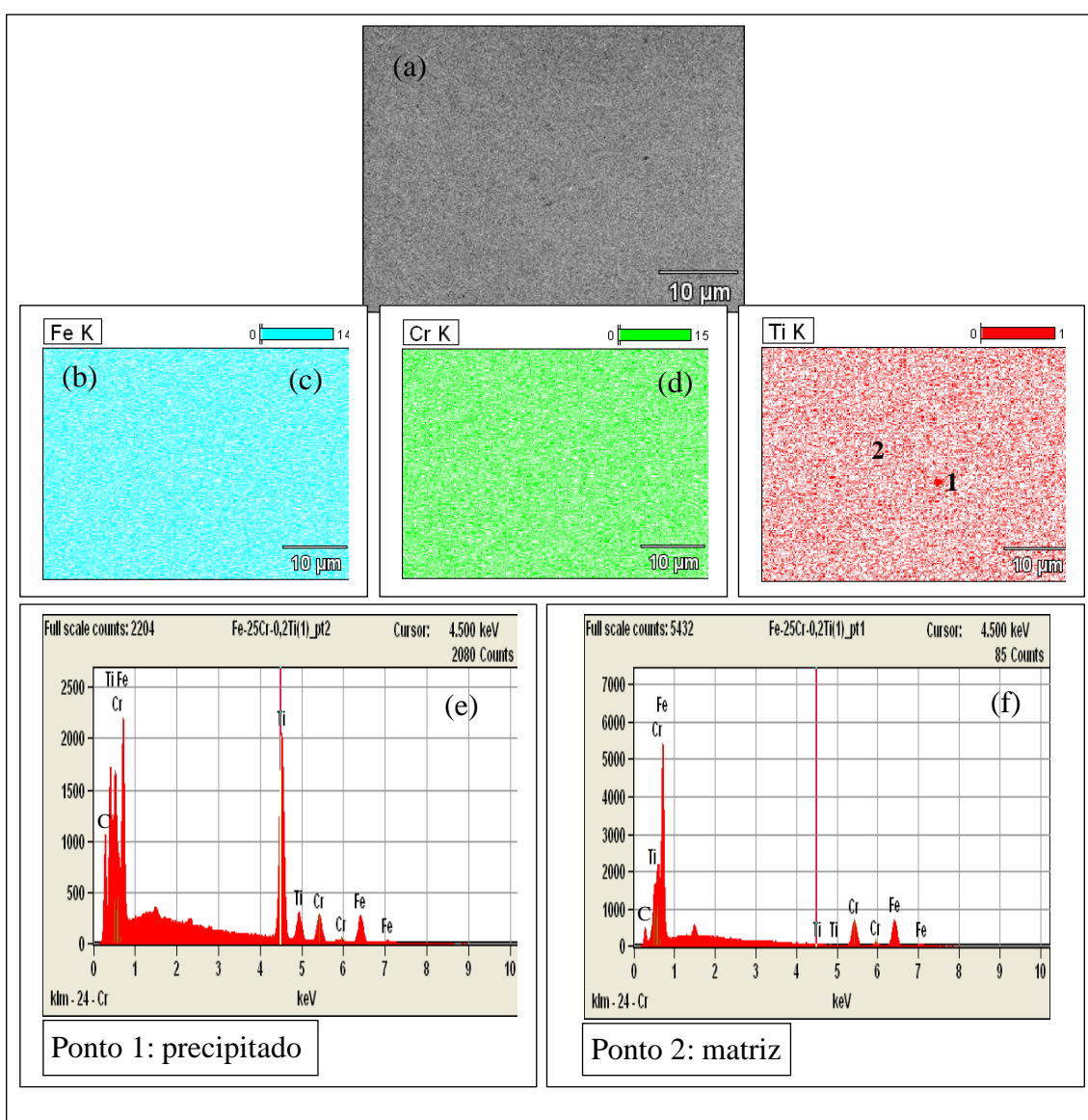


Figura 4.5. Imagem de elétrons secundários da liga Fe-25Cr-0,2Ti (a) e seus respectivos mapas de distribuição dos elementos (b-d). Abaixo são



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

apresentados os espectros de energia dispersiva (EDS) das análises pontuais na matriz e precipitado (e-f).

A Figura 4.6 mostra a imagem de elétrons secundários da superfície polida da liga Fe-25Cr-0,4Ti laminada com aumento de 2500x, os mapas da distribuição de Fe, Cr e Ti da área selecionada, e os espectros de energia dispersiva (EDS) nos pontos 1 e 2, respectivamente. Pode-se mais uma vez observar o surgimento de picos intensos de titânio e carbono no ponto 1 (Figura 4.6e) devido ao precipitado TiC. O Ponto 2 apresenta o espectro de energia dispersa relativo à matriz. Para esse teor de titânio (0,4% em peso) os precipitados ainda não são facilmente encontrados.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

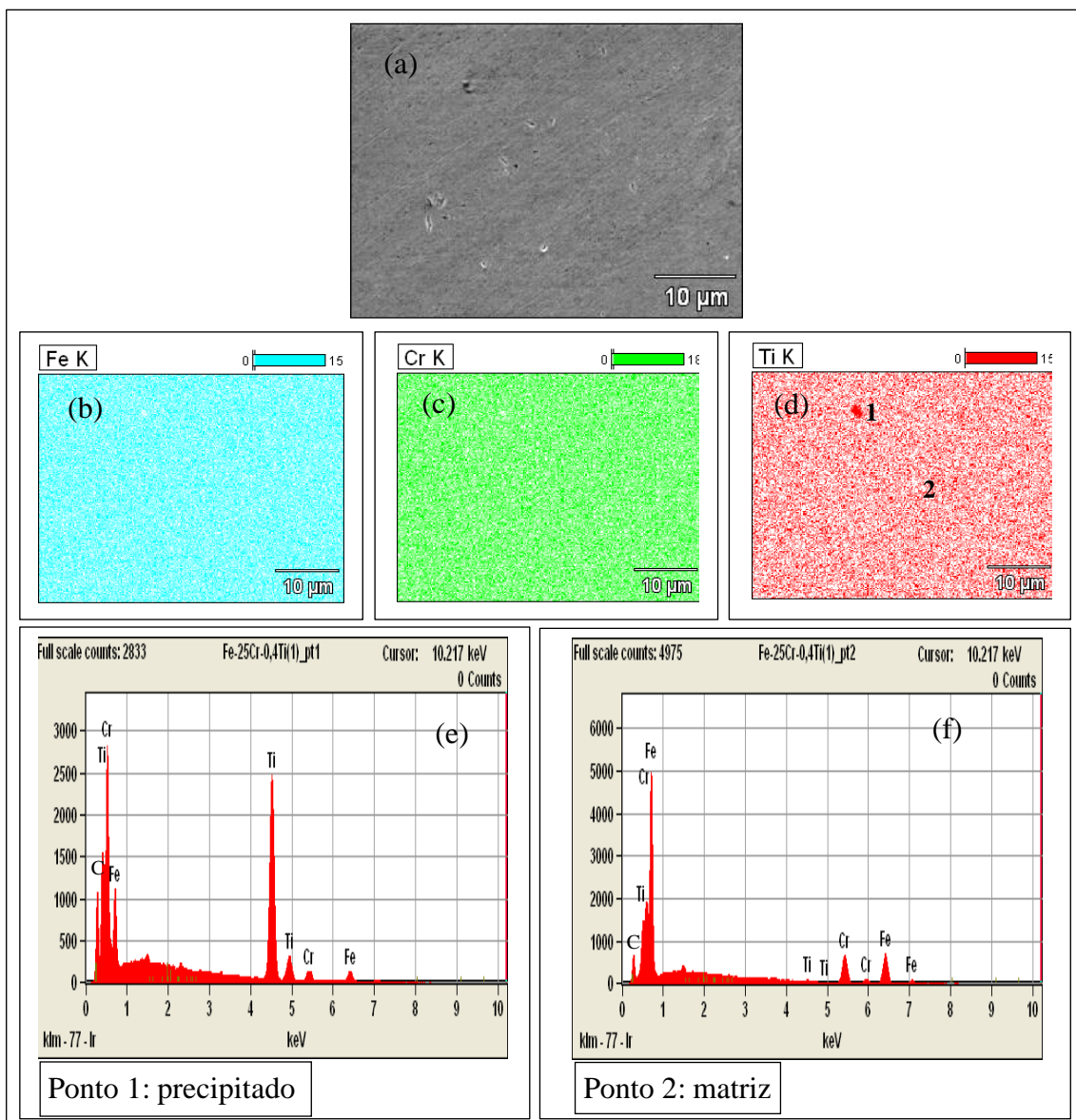


Figura 4.6. Imagem de elétrons secundários da liga Fe-25Cr-0,4Ti (a) e seus respectivos mapas de distribuição dos elementos (b-d). Abaixo são apresentados os espectros de energia dispersiva (EDS) das análises pontuais na matriz e precipitado (e-f).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

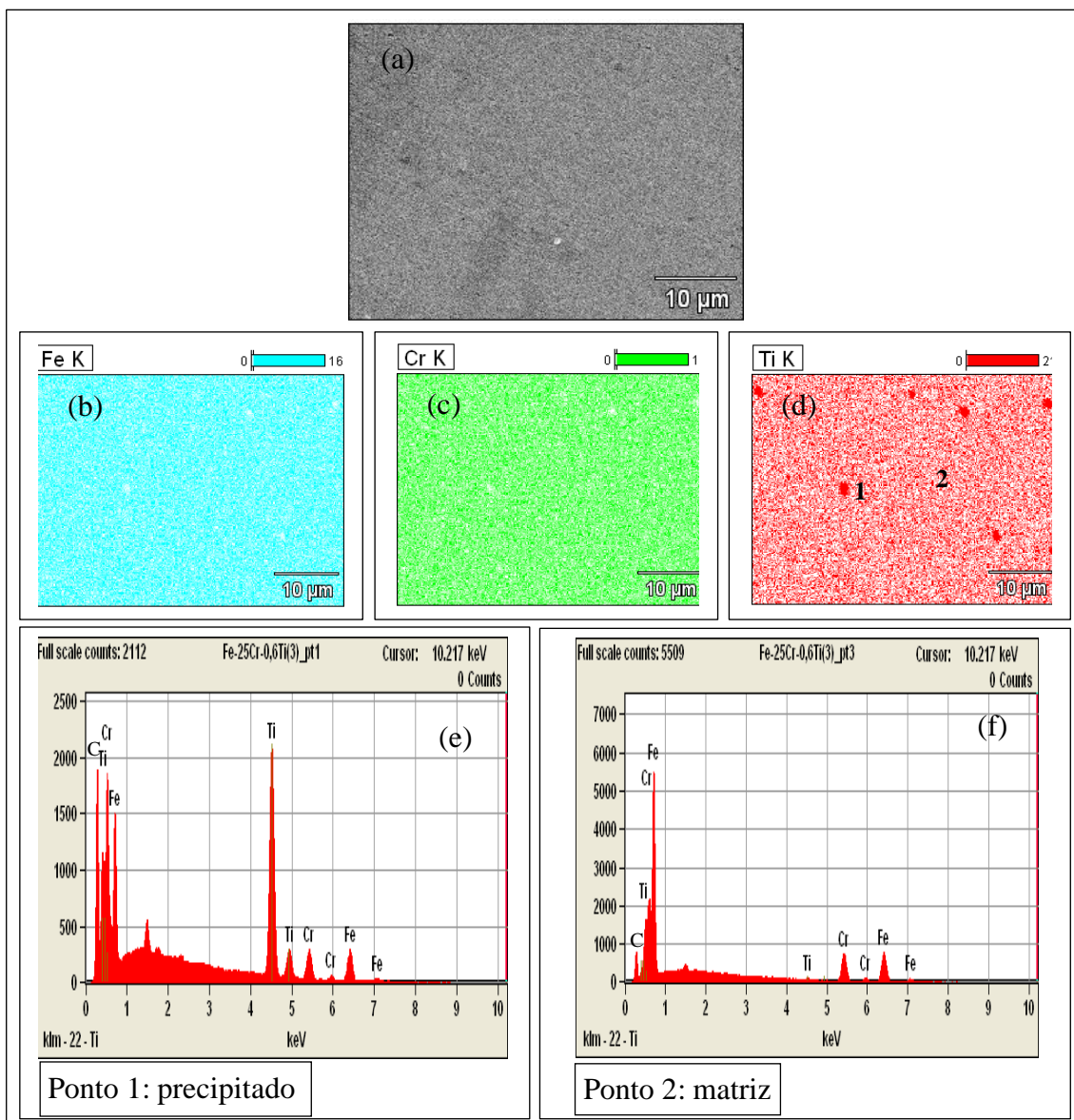


Figura 4.7. Imagem de elétrons secundários da liga Fe-25Cr-0,6Ti (a) e seus respectivos mapas de distribuição dos elementos (b-d). Abaixo são apresentados os espectros de energia dispersiva (EDS) das análises pontuais na matriz e precipitado (e-f).

Por outro lado, com a adição de 0,6% de Ti pontos de maior concentração de Ti foram um pouco mais fáceis de serem vistos através do mapa de distribuição desse elemento (Figura 4.7d), os quais sempre vêm



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

acompanhados de altas concentrações de carbono (Figura 4.7e). Nesse sentido, evidencia-se que, à medida que os teores de titânio aumentam, maior é a densidade de precipitados de carbonetos de titânio nas ligas e isso é coerente com sua grande afinidade com o carbono. Tal fato vai influenciar diretamente nas propriedades mecânicas do material.

4.2. Caracterização Mecânica

A Figura 4.8 apresenta os resultados da medição de dureza Vickers obtidos com carga de 1 kgf. Observa-se através desta figura que a liga sem a adição de titânio possui um valor de dureza equivalente à 243 HV, ao passo que uma queda brusca deste valor para 213 HV foi observada na liga com 0,2% de Ti. A diferença encontrada resulta da ligação química estável entre o titânio e o carbono, para formar o precipitado carboneto de titânio. O titânio ao unir-se com o carbono remove-o da matriz metálica reduzindo a quantidade do mesmo na ferrita. Ao diminuir o teor de carbono na ferrita, diminui-se também sua dureza já que o carbono possui efeito endurecedor ao proporcionar distorções na rede CCC. Como a densidade de precipitados é muito baixa nessa composição, os valores de dureza apresentados na Figura 4.8 dizem respeito à dureza da matriz, isto é, a indentação realizada no ensaio não foi provavelmente aplicada sobre os precipitados formados, já que os carbonetos de titânio estão em menor quantidade.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

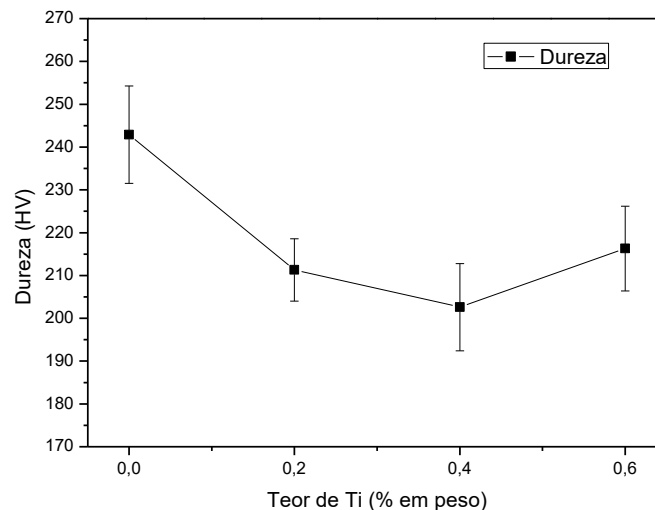


Figura 4.8: Valores de dureza Vickers das ligas de Fe-25Cr-xTi laminadas.

Ao aumentar o teor de titânio para 0,4% na liga, constata-se ainda, que não houve nenhuma alteração no valor da dureza, ao considerar o desvio padrão apresentado. Considerando a liga com 0,6% de Ti, o mesmo pode ser dito, o que mostra que de modo geral as adições até 0,6% de Ti não foram capazes de aumentar a resistência mecânica da matriz por efeito de endurecimento por solução sólida, pois o titânio tem maior tendência a se combinar com o carbono.

5. Conclusões

As principais conclusões obtidas neste trabalho foram:

- As ligas Fe-25Cr-xTi na condição bruta de fusão e laminada apresentaram microestruturas constituídas de grãos ferríticos.
- As ligas que foram submetidas à laminação a quente apresentaram considerável diminuição do tamanho de grão, cujo efeito foi mais pronunciado com as adições de titânio até 0,4%.
- Com as adições de titânio houve um aumento gradual de precipitados sobre a matriz, identificados como carbonetos de titânio (TIC).



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

- As adições de titânio contribuíram para redução da dureza da matriz ferrítica devido a sua maior tendência em se combinar com o carbono, evitando que este elemento permaneça na rede CCC.

6. Perspectiva

O presente trabalho tinha o objetivo de caracterizar microestruturalmente a liga Fe-25Cr-xTi ($x = 0,2; 0,4$ e $0,6\%$) e os resultados obtidos mostraram que a adição de titânio na liga causa o refino de grão e a dureza do material possui valor considerável.

Propor trabalhos para serem continuados para uma melhor compreensão do efeito do titânio nas propriedades da liga é muito importante. Pode-se citar:

- Realizar análise química nas ligas para obter o teor de carbono.
- Realizar a medição do tamanho de grão.
- Utilizar o reagente Vilella como solução de ataque químico para revelar a microestrutura.
- Realizar análise de precipitados.
- Realizar análise de tração e corrosão para dar uma aplicação a liga.
- Realizar análise de corrosão sob tensão, corrosão intergranular, corrosão por pites.

7. Referências Bibliográficas

[1] ASM – American Society of Metals, **Metals Handbook**, 10^a ed., v. 16 - Machining, 1995.

[2] CASHELL, K. A.; BADDON, N. R. Ferritic stainless steels in structural applications. **Science Direct**. Thin-Walled Structures 83. p. 169–181. 2014.

[3] FARIA, R. A. **Efeito dos elementos Ti e Nb no comportamento em fadiga dos aços inoxidáveis ferríticos utilizados no sistema de exaustão de**



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

veículos automotores. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), Universidade Estadual de Minas Gerais-UEMG, Ouro Preto-MG.

[4] Cálculo de diagramas de fases usando o método CALPHAD. Disponível em <<http://www.calphad.com/iron-chromium.html>>. Acesso realizado em 17/07/2018.

[5] PECKNER D.; BERNSTEIN, I. M – Copyright 1977 by McGraw-Hill, Inc. –**Handbook of Stainless Steels.**

[6] VIEIRA, D. A.; SANTOS, M. P.; LIMA, D. S. G.; RODRIGUEZ, Y. P. M.; SOUZA, C. P.; MORAES JR, T. O. Processamento e caracterização de núcleo de ferro puro obtido por metalurgia do pó para aplicação como captador em energy harvesting. **Holos.** v. 3, p. 74-81, 2015.

[7] SOURMAIL, T. Literature review: Precipitation in creep resistant austenitic stainless steels. **Materials Science and Technology**, Cambridge, v. 17, 2001.

[8] GUIDA, R. B. **Comparação da estampabilidade de chapas de aço inoxidável ferrítico estabilizado ao nióbio obtidas através de duas rotas de fabricação.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Minas Gerais.

[9] MALLAIAH, G.; REDDY, P. R; KUMAR, A. Influence of titanium addition on mechanical properties, residual stresses and corrosion behaviour of AISI 430 grade ferritic stainless steel GTA welds. **Science Direct.** vol. 2, p. 1740-1751. 2014.

[10] ANDRADE, T. C.; SILVA, C. C.; MIRANDA, H. C.; MOTTA, M. C.; FARIAS, J. P.; BERGMAN, L. A; SANTOS, J. F. Microestrutura de uma Solda Dissimilar entre o Aço Inoxidável Ferrítico AISI 410S e o Aço Inoxidável



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

Austenítico AISI 304L Soldado pelo Processo FSW. **Soldagem & Inspeção**. 20(4): p. 467-478. 2015.

[11] LOPES, A. C. **Avaliação da soldabilidade dos aços inoxidáveis ferríticos extra baixo intersticiais EBI/P44**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba-PR.

[12] LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. - Welding Metallurgy of Stainless Steel. **John Wiley & Sons**, 2005.

[13] SILVA, J. N. **Análise da conformação a frio do aço ABNT 430 modificado por Nb, Al, Al-Nb e Al-Ti**. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 1990. p.05-12; 25-50.

[14] JÚNIOR, W. S.; BARBOSA, R. A. N. M. Laminação a quente de aço inoxidável ferrítico em laminador steckel: caracterização termomecânica e microestrutural e modelagem matemática da evolução da fração recristalizada de ferrita. **Tecnol. Metal. Mater. Miner. São Paulo**, v. 10, n. 3, p. 200-206, jul.-set. 2013.

[15] FILHO, H. M. R. L. **Análise de ataques químicos para revelação de microestrutura de soldas dissimilares de aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos**. 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia Metalúrgica), Universidade Federal do Ceará-UFCE, Fortaleza-CE.

[16] GUIDA, R. B. **comparação da estampabilidade de chapas de aço inoxidável ferrítico estabilizado ao nióbio obtidas através de duas rotas de fabricação**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte-MG.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

8. Outras Atividades

Participação em atividade de extensão Minicurso PIBIC 2017/2018.1-
Gerenciamento de Referências Bibliográficas, na função de participante no dia
11 de maio de 2018.